

Протокол калибровки № 1-033/2016 от 09.06.2016 г.

1. Средство измерений Машина силовоспроизводящая МСВ-1000МГ4
2. Заводской номер № 002
3. Калибровка выполнена с применением входящих в состав Государственного первичного эталона единицы силы ГЭТ32-2011 компараторов силы:
 - ОДС-20 № 186866;
 - ОДС-50 № 152920;
 - ОДС-100 № 166271и усилителя измерительного MGCplus, состоящего из панели индикации АВ22А № 801118789 и измерительного модуля ML38В № 118810001102.
4. Методика калибровки СК 03-2301-6-МК 6/2014 «Методика передачи размера единицы силы рабочим эталонам 1-го разряда методом сличения с ГЭТ32-2011».
5. Условия калибровки
 - температура воздуха + 23 °С;
 - относительная влажность 35 %;
 - атмосферное давление 1021 гПа.
6. Метрологические характеристики машины силовоспроизводящей МСВ-1000МГ4 № 002.

6.1. Результаты измерений

Таблица 1. Показания компаратора ОДС-20 по шести независимым измерениям при поворотах компаратора на 120° относительно оси приложения силы в режиме нагружения в диапазоне измерений от 20 кН до 200 кН.

F, кН	X _{изм.} , мВ/В						
	0°	120°	240°	0°	120°	240°	$\bar{X}_{изм}$
20	0,216949	0,216910	0,216950	0,216846	0,216854	0,216889	0,216900
40	0,433872	0,433839	0,433864	0,433712	0,433722	0,433815	0,433804
60	0,650892	0,650762	0,650824	0,650722	0,650697	0,650726	0,650771
80	0,867904	0,867848	0,867888	0,867755	0,867682	0,867785	0,867810
100	1,084997	1,084838	1,084985	1,084756	1,084743	1,084813	1,084855
120	1,302100	1,301861	1,302086	1,301825	1,301803	1,301833	1,301918
140	1,519091	1,518940	1,519044	1,518900	1,518766	1,518931	1,518945
160	1,736134	1,736054	1,736111	1,735908	1,735774	1,735935	1,735986
180	1,953305	1,953154	1,953245	1,952995	1,952929	1,953001	1,953105
200	2,170335	2,170162	2,170175	2,169978	2,169934	2,169998	2,170097

Таблица 2. Показания компаратора ОДС-20 по шести независимым измерениям при поворотах компаратора на 120° относительно оси приложения силы в режиме разгрузки в диапазоне измерений от 200 кН до 20 кН.

F, кН	X _{изм.} , мВ/В						
	0°	120°	240°	0°	120°	240°	$\bar{X}_{изм}$
200	2,170335	2,170162	2,170175	2,169978	2,169934	2,169998	2,170097
180	1,953279	1,953114	1,953185	1,953038	1,952918	1,953078	1,953102
160	1,736321	1,736087	1,736131	1,736002	1,735991	1,736050	1,736097
140	1,519225	1,519062	1,519107	1,518960	1,518918	1,519004	1,519046
120	1,302132	1,302058	1,302129	1,301873	1,301855	1,301982	1,302005
100	1,085131	1,084935	1,085126	1,084893	1,084891	1,084894	1,084978
80	0,868025	0,868001	0,868005	0,867902	0,867804	0,867965	0,867950
60	0,651105	0,650981	0,650995	0,650926	0,650911	0,650932	0,650975
40	0,434021	0,433908	0,433959	0,433869	0,433836	0,433871	0,433911
20	0,217057	0,216989	0,217010	0,216956	0,216922	0,216981	0,216986

Таблица 3. Показания компаратора ОДС-50 по шести независимым измерениям при поворотах компаратора на 120° относительно оси приложения силы в режиме нагружения в диапазоне измерений от 50 кН до 500 кН.

F, кН	X _{изм.} , мВ/В						
	0°	120°	240°	0°	120°	240°	$\bar{X}_{изм}$
50	0,176113	0,176101	0,176173	0,176140	0,176095	0,176174	0,176133
100	0,352234	0,352226	0,352328	0,352255	0,352196	0,352336	0,352263
150	0,528334	0,528297	0,528464	0,528408	0,528285	0,528474	0,528377
200	0,704436	0,704421	0,704643	0,704474	0,704395	0,704648	0,704503
250	0,880594	0,880593	0,880677	0,880666	0,880473	0,880795	0,880633
300	1,056748	1,056619	1,056877	1,056812	1,056585	1,056965	1,056768
350	1,232691	1,232686	1,232995	1,232732	1,232682	1,233111	1,232816
400	1,408895	1,408775	1,409014	1,409013	1,408637	1,409117	1,408909
450	1,585100	1,585037	1,585303	1,585266	1,584794	1,585331	1,585139
500	1,761160	1,761076	1,761372	1,761367	1,760954	1,761540	1,761245

Таблица 4. Показания компаратора ОДС-50 по шести независимым измерениям при поворотах компаратора на 120° относительно оси приложения силы в режиме разгрузки в диапазоне измерений от 500 кН до 50 кН.

F, кН	X _{изм.} , мВ/В						
	0°	120°	240°	0°	120°	240°	$\bar{X}_{изм}$
500	1,761160	1,761076	1,761372	1,761367	1,760954	1,761540	1,761245
450	1,585210	1,585052	1,585283	1,585280	1,584791	1,585305	1,585154
400	1,408900	1,408772	1,409046	1,409033	1,408675	1,409143	1,408928
350	1,232794	1,232768	1,233015	1,232827	1,232608	1,233023	1,232839
300	1,056773	1,056742	1,056881	1,056864	1,056639	1,057007	1,056818
250	0,880654	0,880553	0,880786	0,880755	0,880479	0,880798	0,880671
200	0,704559	0,704548	0,704646	0,704569	0,704379	0,704649	0,704558
150	0,528380	0,528372	0,528474	0,528462	0,528258	0,528477	0,528404
100	0,352244	0,352220	0,352361	0,352334	0,352206	0,352366	0,352289
50	0,176130	0,176123	0,176167	0,176151	0,176111	0,176197	0,176147

Таблица 5. Показания компаратора ОДС-100 по шести независимым измерениям при поворотах компаратора на 120° относительно оси приложения силы в режиме нагружения в диапазоне измерений от 100 кН до 1000 кН.

F, кН	X _{изм.} , мВ/В						
	0°	120°	240°	0°	120°	240°	$\bar{X}_{изм}$
100	0,219222	0,219218	0,219217	0,219281	0,219233	0,219207	0,219230
200	0,438432	0,438402	0,438383	0,438483	0,438478	0,438370	0,438425
300	0,657618	0,657611	0,657571	0,657689	0,657651	0,657551	0,657615
400	0,876771	0,876758	0,876743	0,876903	0,876800	0,876741	0,876786
500	1,095952	1,095935	1,095916	1,096046	1,095963	1,095869	1,095947
600	1,315154	1,315116	1,314977	1,315181	1,315166	1,314969	1,315094
700	1,534250	1,534198	1,534123	1,534339	1,534257	1,534100	1,534211
800	1,753326	1,753235	1,753226	1,753449	1,753339	1,753194	1,753295
900	1,972363	1,972291	1,972242	1,972449	1,972376	1,972163	1,972314
1000	2,191238	2,191236	2,191205	2,191504	2,191394	2,191174	2,191292

Таблица 6. Показания компаратора ОДС-100 по шести независимым измерениям при поворотах компаратора на 120° относительно оси приложения силы в режиме разгрузки в диапазоне измерений от 1000 кН до 100 кН.

F, кН	X _{изм.} , мВ/В						
	0°	120°	240°	0°	120°	240°	$\bar{X}_{изм}$
1000	2,191238	2,191236	2,191205	2,191504	2,191394	2,191174	2,191292
900	1,972372	1,972173	1,972164	1,972434	1,972392	1,972138	1,972279
800	1,753281	1,753208	1,753170	1,753354	1,753323	1,753075	1,753235
700	1,534236	1,534139	1,534076	1,534270	1,534243	1,534014	1,534163
600	1,315100	1,315061	1,315000	1,315189	1,315118	1,314963	1,315072
500	1,095949	1,095941	1,095875	1,096046	1,096039	1,095839	1,095948
400	0,876834	0,876826	0,876712	0,876868	0,876864	0,876682	0,876798
300	0,657606	0,657602	0,657600	0,657723	0,657697	0,657563	0,657632
200	0,438449	0,438430	0,438419	0,438513	0,438480	0,438390	0,438447
100	0,219248	0,219235	0,219229	0,219283	0,219249	0,219209	0,219242

6.2. Определение расширенной относительной неопределенности (доверительной погрешности) результатов измерений на машине силовоспроизводящей МСВ-1000МГ4 № 002.

6.2.1 Применяемые символы. Расчет составляющих погрешности машины силовоспроизводящей МСВ-1000МГ4 № 002.

F - номинальное значение силы в кН;

e – дискретность индикации машины МСВ-1000МГ4 № 002;

r – погрешность разрешения индикации силовоспроизводящей установки рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{e}{F} \cdot 100\%$$

$X_{изм.}$ - показания компаратора в мВ/В, полученные при измерениях на МСВ-1000МГ4 № 002;

$\overline{X}_{изм.}$ - средние значения показаний компаратора в мВ/В, полученные при измерениях на машине МСВ-1000МГ4 № 002, рассчитывается по формуле:

$$\overline{X}_{изм.} = \frac{1}{6} \cdot \sum_{i=1}^6 X_{изм.}$$

$\overline{X}_к$ - средние значения показаний компараторов в мВ/В, полученные при измерениях на эталонной установке ЭУ-100 ГЭТ 32-2011;

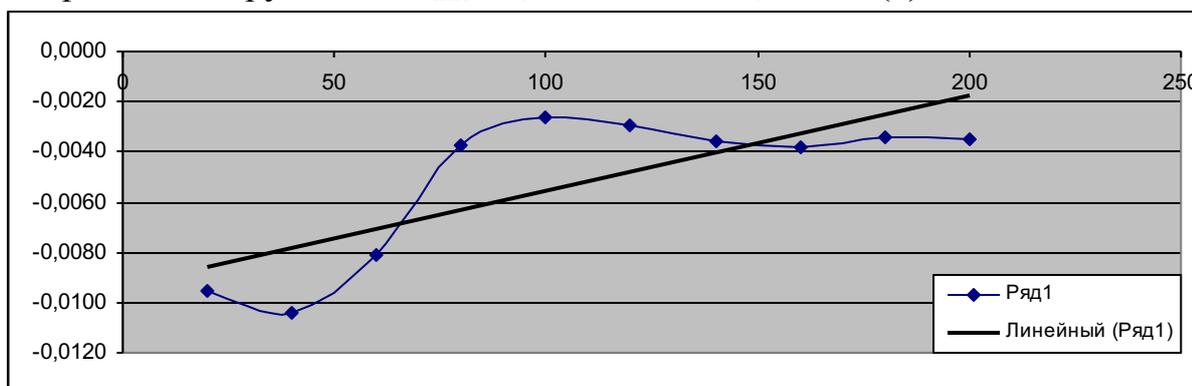
d - относительное отклонение средних значений показаний компаратора, полученных при измерениях на машине МСВ-1000МГ4 № 002 от средних значений показаний компаратора, полученных на эталонной установке ЭУ-100 ГЭТ 32-2011, рассчитывается по формуле:

$$d = \frac{\overline{X}_{изм.} - \overline{X}_к}{\overline{X}_к} \cdot 100\%$$

$d_{инт.}$ - относительные отклонения, рассчитанные по методу наименьших квадратов (интерполяционное отклонение):

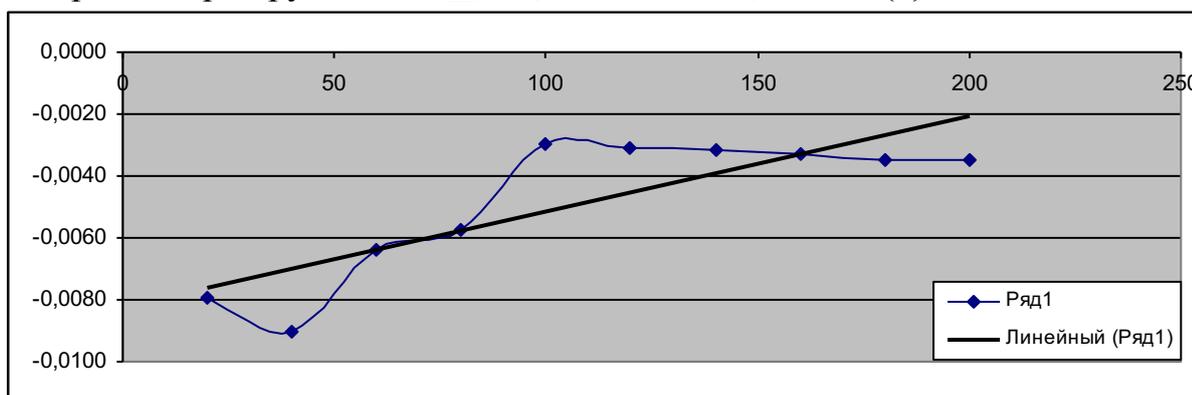
- в диапазоне измерений от 20 кН до 200 кН

для режима нагружения $d_{инт.} = 3,77765 \cdot 10^{-5} \cdot F - 0,00931$ (1)

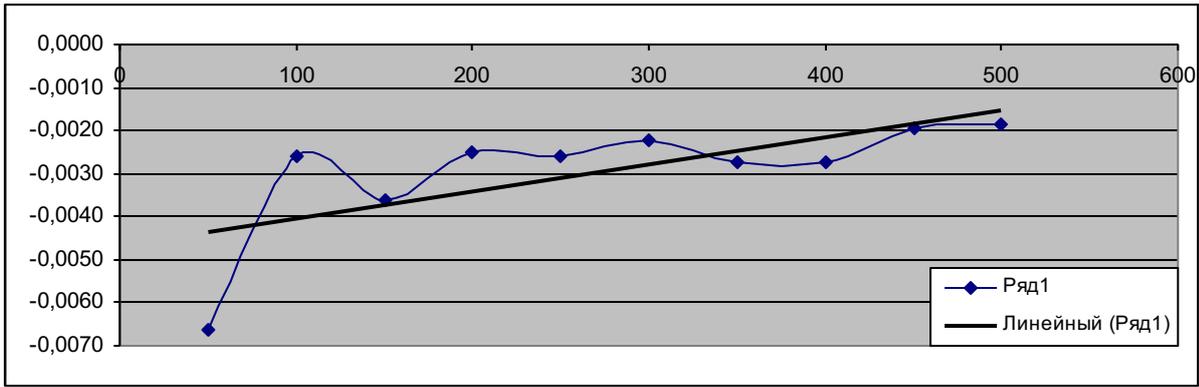


- в диапазоне измерений от 200 кН до 20 кН

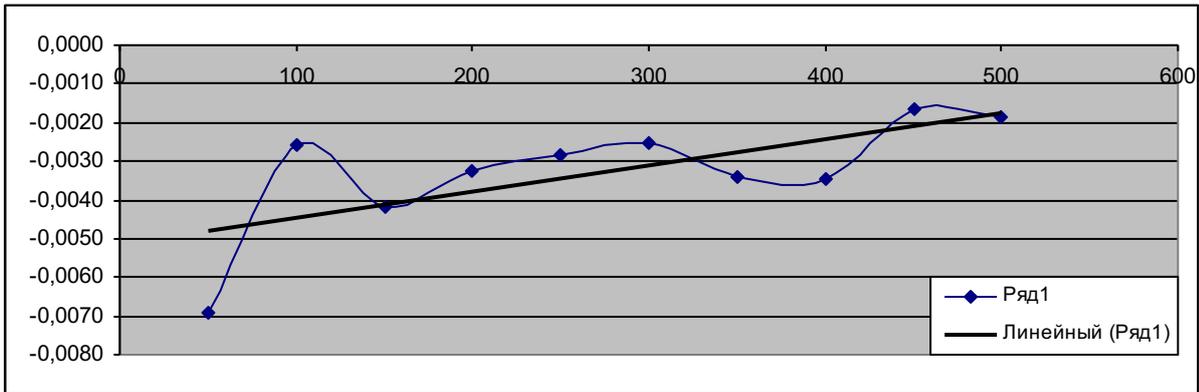
для режима разгружения $d_{инт.} = 3,0891 \cdot 10^{-5} \cdot F - 0,00825$ (2)



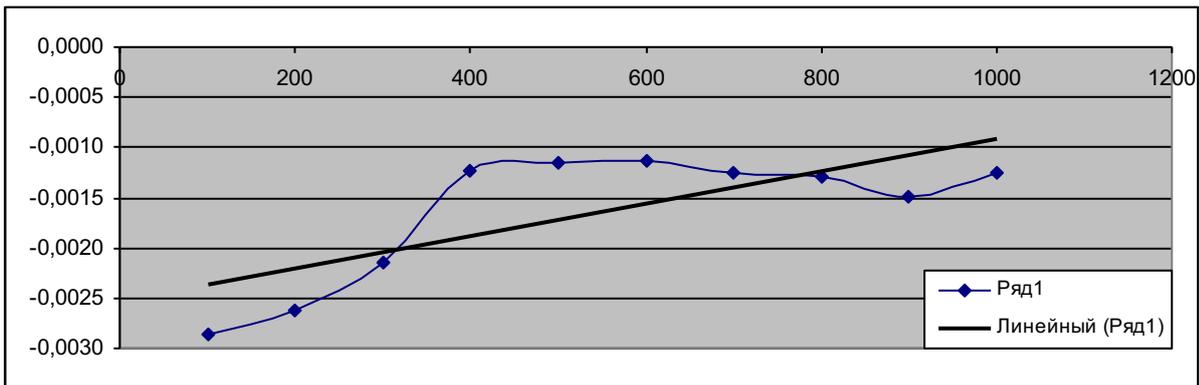
- в диапазоне измерений от 50 кН до 500 кН
 для режима нагружения $d_{инт} = 6,2043 \cdot 10^{-6} \cdot F - 0,00465$ (3)



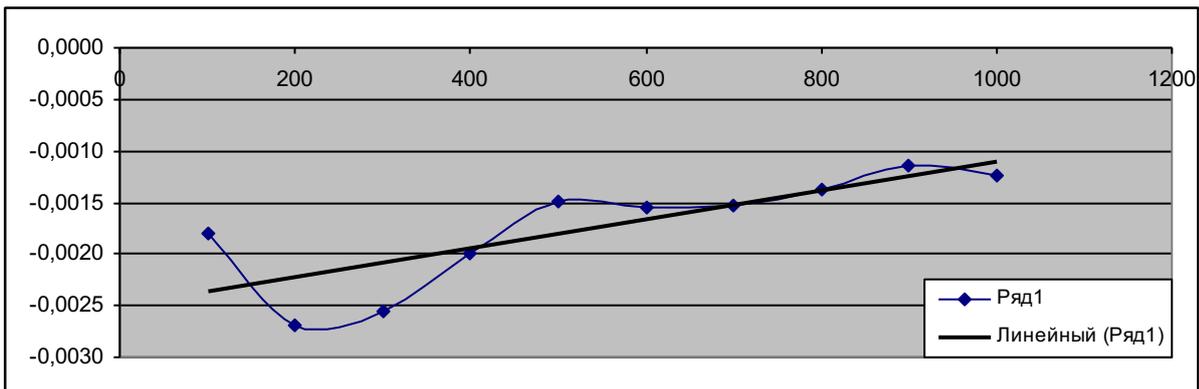
- в диапазоне измерений от 500 кН до 50 кН
 для режима разгрузки $d_{инт} = 6,7352 \cdot 10^{-6} \cdot F - 0,00512$ (4)



- в диапазоне измерений от 100 кН до 1000 кН
 для режима нагружения $d_{инт} = 1,6194 \cdot 10^{-6} \cdot F - 0,00253$ (5)



- в диапазоне измерений от 1000 кН до 100 кН
 для режима разгрузки $d_{инт} = 1,395210^{-6} \cdot F - 0,00251$ (6)



где

- ось X - измеряемая сила в кН;
- ось Y - величина отклонения измеренной силы от номинального значения в %;
- Ряд 1 - отклонения, полученные в результате измерений по точкам;
- Линейный (Ряд 1)–интерполяционные отклонения, построенные по уравнениям (1)-(6) для режимов нагружения и разгружения.

$F_{\text{инт}}$ - значения силы в кН, рассчитанные по градуировочным характеристикам (уравнениям 1 - 6).

6.2.2. Расчет расширенной относительной неопределенности (доверительной погрешности) результатов измерений на машине МСВ-1000МГ4 № 002.

δ – расширенная относительная стандартная неопределенность (доверительная погрешность) результатов измерений при доверительной вероятности $p=0,95$ ($k=2$), определяется по формуле:

$$= 2 \sqrt{w_{\text{инд}}^2 + w_{\text{инт}}^2 + w_{\text{к}}^2 + w_{\text{изм}}^2}$$

где,

$w_{\text{инд}}$ – неопределенность разрешения индикации машины МСВ-1000МГ4 № 002, рассчитывается по формуле:

$$w_{\text{инд}} = \frac{r}{\sqrt{6}};$$

$w_{\text{инт}}$ – неопределенность построения градуировочной характеристики (интерполяционной зависимости), рассчитывается по формуле:

$$w_{\text{инт}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{10} (d_{\text{инт.}} - d)^2}{n \cdot b \cdot 1}},$$

n - количество измеренных точек (n= 10),

b - степень полинома интерполяционной зависимости (b=1),

($d_{\text{инт.}}$ -d) – остаток, рассчитывается для каждого измеренного значения силы;

$w_{\text{изм}}$ – относительная стандартная неопределенность (относительное СКО) среднего значения показаний компаратора, полученных при измерениях (с 1 по 6 ряд) на машине МСВ-1000МГ4 № 002, определяется по формуле:

$$w_{\text{изм}} = \frac{1}{|\overline{X_{\text{изм}}}|} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{\frac{1}{(6-1)} \cdot \sum_{i=1}^6 (X_{\text{изм}} - \overline{X_{\text{изм}}})^2} \cdot 100\%$$

w_k – относительная стандартная неопределенность (относительное СКО) среднего значения показаний компараторов, полученных при измерениях на эталонных установках ЭУ-10 и ЭУ-100 Государственного первичного эталона единицы силы ГЭТ32-2011:

$$w_k=0,003\%$$

Расширенная относительная неопределенность (доверительная погрешность) результатов измерений на машине МСВ-1000МГ4 № 002.

в диапазоне измерений от 20 кН до 200 кН для режима нагружения

F, кН	$\bar{X}_{изм},$ МВ/В	$\bar{X}_к,$ МВ/В	d, %	$d_{инт},$ %	$w_{инд.},$ %	$w_{инт.},$ %	$w_{изм.},$ %	$w_k,$ %	$\delta,$ %	$F_{инт},$ кН
20	0,216900	0,216920	-0,0095	-0,0086	0,0020	0,0020	0,0085	0,0030	0,0189	19,998
40	0,433804	0,433849	-0,0104	-0,0078	0,0010	0,0020	0,0066	0,0030	0,0152	39,997
60	0,650771	0,650823	-0,0081	-0,0070	0,0007	0,0020	0,0046	0,0030	0,0118	59,996
80	0,867810	0,867843	-0,0037	-0,0063	0,0005	0,0020	0,0040	0,0030	0,0108	79,995
100	1,084855	1,084884	-0,0026	-0,0055	0,0004	0,0020	0,0042	0,0030	0,0111	99,994
120	1,301918	1,301956	-0,0029	-0,0048	0,0003	0,0020	0,0043	0,0030	0,0112	119,994
140	1,518945	1,518999	-0,0036	-0,0040	0,0003	0,0020	0,0031	0,0030	0,0095	139,994
160	1,735986	1,736052	-0,0038	-0,0033	0,0003	0,0020	0,0033	0,0030	0,0097	159,995
180	1,953105	1,953172	-0,0035	-0,0025	0,0002	0,0020	0,0032	0,0030	0,0096	179,995
200	2,170097	2,170173	-0,0035	-0,0018	0,0002	0,0020	0,0029	0,0030	0,0092	199,996

в диапазоне измерений от 200 кН до 20 кН для режима разгрузки

F, кН	$\bar{X}_{изм},$ МВ/В	$\bar{X}_к,$ МВ/В	d, %	$d_{инт},$ %	$w_{инд.},$ %	$w_{инт.},$ %	$w_{изм.},$ %	$w_k,$ %	$\delta,$ %	$F_{инт},$ кН
200	2,170097	2,170173	-0,0035	-0,0021	0,0002	0,0013	0,0029	0,0030	0,0088	199,996
180	1,953102	1,953170	-0,0035	-0,0027	0,0002	0,0013	0,0026	0,0030	0,0084	179,995
160	1,736097	1,736154	-0,0033	-0,0033	0,0003	0,0013	0,0029	0,0030	0,0087	159,995
140	1,519046	1,519094	-0,0032	-0,0039	0,0003	0,0013	0,0030	0,0030	0,0089	139,994
120	1,302005	1,302045	-0,0031	-0,0045	0,0003	0,0013	0,0038	0,0030	0,0101	119,995
100	1,084978	1,085010	-0,0029	-0,0052	0,0004	0,0013	0,0044	0,0030	0,0110	99,995
80	0,867950	0,868000	-0,0057	-0,0058	0,0005	0,0013	0,0039	0,0030	0,0103	79,995
60	0,650975	0,651017	-0,0064	-0,0064	0,0007	0,0013	0,0045	0,0030	0,0112	59,996
40	0,433911	0,433950	-0,0091	-0,0070	0,0010	0,0013	0,0064	0,0030	0,0146	39,997
20	0,216986	0,217003	-0,0079	-0,0076	0,0020	0,0013	0,0087	0,0030	0,0190	19,998

в диапазоне измерений от 50 кН до 500 кН для режима нагружения

F, кН	$\bar{X}_{изм},$ мВ/В	$\bar{X}_к,$ мВ/В	d, %	d _{инт} , %	W _{инд} , %	W _{инт} , %	W _{изм} , %	W _к , %	δ, %	F _{инт} , кН
50	0,176133	0,176144	-0,0066	-0,0043	0,0008	0,0011	0,0082	0,0030	0,0176	49,998
100	0,352263	0,352272	-0,0026	-0,0040	0,0004	0,0011	0,0066	0,0030	0,0147	99,996
150	0,528377	0,528396	-0,0036	-0,0037	0,0003	0,0011	0,0064	0,0030	0,0144	149,994
200	0,704503	0,704520	-0,0025	-0,0034	0,0002	0,0011	0,0066	0,0030	0,0146	199,993
250	0,880633	0,880656	-0,0026	-0,0031	0,0002	0,0011	0,0050	0,0030	0,0119	249,992
300	1,056768	1,056791	-0,0022	-0,0028	0,0001	0,0011	0,0057	0,0030	0,0131	299,992
350	1,232816	1,232850	-0,0027	-0,0025	0,0001	0,0011	0,0062	0,0030	0,0140	349,991
400	1,408909	1,408947	-0,0027	-0,0022	0,0001	0,0011	0,0051	0,0030	0,0121	399,991
450	1,585139	1,585170	-0,0020	-0,0019	0,0001	0,0011	0,0053	0,0030	0,0124	449,992
500	1,761245	1,761278	-0,0019	-0,0015	0,0001	0,0011	0,0051	0,0030	0,0120	499,992

в диапазоне измерений от 500 кН до 50 кН для режима разгрузки

F, кН	$\bar{X}_{изм},$ мВ/В	$\bar{X}_к,$ мВ/В	d, %	d _{инт} , %	W _{инд} , %	W _{инт} , %	W _{изм} , %	W _к , %	δ, %	F _{инт} , кН
500	1,761245	1,761278	-0,0019	-0,0018	0,0001	0,0011	0,0051	0,0030	0,0120	499,991
450	1,585154	1,585180	-0,0017	-0,0021	0,0001	0,0011	0,0052	0,0030	0,0122	449,991
400	1,408928	1,408977	-0,0035	-0,0024	0,0001	0,0011	0,0052	0,0030	0,0122	399,990
350	1,232839	1,232881	-0,0034	-0,0028	0,0001	0,0011	0,0052	0,0030	0,0123	349,990
300	1,056818	1,056845	-0,0026	-0,0031	0,0001	0,0011	0,0049	0,0030	0,0118	299,991
250	0,880671	0,880696	-0,0028	-0,0034	0,0002	0,0011	0,0061	0,0030	0,0138	249,991
200	0,704558	0,704581	-0,0033	-0,0038	0,0002	0,0011	0,0057	0,0030	0,0131	199,992
150	0,528404	0,528426	-0,0042	-0,0041	0,0003	0,0011	0,0066	0,0030	0,0147	149,994
100	0,352289	0,352298	-0,0026	-0,0045	0,0004	0,0011	0,0085	0,0030	0,0182	99,996
50	0,176147	0,176159	-0,0069	-0,0048	0,0008	0,0011	0,0074	0,0030	0,0162	49,998

в диапазоне измерений от 100 кН до 1000 кН для режима нагружения

F, кН	$\bar{X}_{изм},$ мВ/В	$\bar{X}_к,$ мВ/В	d, %	d _{инт} , %	W _{инд} , %	W _{инт} , %	W _{изм} , %	W _к , %	δ, %	F _{инт} , кН
100	0,219230	0,219236	-0,0029	-0,0024	0,0004	0,0005	0,0049	0,0030	0,0116	99,998
200	0,438425	0,438436	-0,0026	-0,0022	0,0002	0,0005	0,0045	0,0030	0,0108	199,996
300	0,657615	0,657629	-0,0021	-0,0020	0,0001	0,0005	0,0031	0,0030	0,0087	299,994
400	0,876786	0,876797	-0,0012	-0,0019	0,0001	0,0005	0,0029	0,0030	0,0083	399,992
500	1,095947	1,095959	-0,0011	-0,0017	0,0001	0,0005	0,0022	0,0030	0,0075	499,991
600	1,315094	1,315109	-0,0011	-0,0016	0,0001	0,0005	0,0030	0,0030	0,0085	599,991
700	1,534211	1,534230	-0,0012	-0,0014	0,0001	0,0005	0,0024	0,0030	0,0077	699,990
800	1,753295	1,753317	-0,0013	-0,0012	0,0001	0,0005	0,0022	0,0030	0,0075	799,990
900	1,972314	1,972343	-0,0015	-0,0011	0,0000	0,0005	0,0021	0,0030	0,0074	899,990
1000	2,191292	2,191319	-0,0012	-0,0009	0,0000	0,0005	0,0024	0,0030	0,0077	999,991

в диапазоне измерений от 1000 кН до 100 кН для режима разгрузки

F, кН	$\bar{X}_{изм},$ мВ/В	$\bar{X}_к,$ мВ/В	d, %	d _{инт} , %	W _{инд} , %	W _{инт} , %	W _{изм} , %	W _к , %	δ, %	F _{инт} , кН
1000	2,191292	2,191319	-0,0012	-0,0011	0,0000	0,0003	0,0024	0,0030	0,0077	999,989
900	1,972279	1,972301	-0,0011	-0,0013	0,0000	0,0003	0,0028	0,0030	0,0082	899,989
800	1,753235	1,753259	-0,0014	-0,0014	0,0001	0,0003	0,0024	0,0030	0,0078	799,989
700	1,534163	1,534186	-0,0015	-0,0015	0,0001	0,0003	0,0028	0,0030	0,0082	699,989
600	1,315072	1,315092	-0,0016	-0,0017	0,0001	0,0003	0,0026	0,0030	0,0079	599,990
500	1,095948	1,095964	-0,0015	-0,0018	0,0001	0,0003	0,0031	0,0030	0,0087	499,991
400	0,876798	0,876815	-0,0020	-0,0019	0,0001	0,0003	0,0037	0,0030	0,0096	399,992
300	0,657632	0,657649	-0,0026	-0,0021	0,0001	0,0003	0,0039	0,0030	0,0099	299,994
200	0,438447	0,438459	-0,0027	-0,0022	0,0002	0,0003	0,0041	0,0030	0,0102	199,996
100	0,219242	0,219246	-0,0018	-0,0024	0,0004	0,0003	0,0046	0,0030	0,0111	99,998

7. Выводы:

Машина силовоспроизводящая МСВ-1000МГ4 № 002 по метрологическим характеристикам соответствует требованиям к эталонам 1-го разряда по ГОСТ 8.640-2014 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения силы»:

- в диапазоне измерений от 20 кН до 200 кН с доверительной погрешностью:
в режиме нагружения не более 0,019 %;
в режиме разгрузки не более 0,019 %;
- в диапазоне измерений от 50 кН до 500 кН с доверительной погрешностью:
в режиме нагружения не более 0,018 %;
в режиме разгрузки не более 0,018 %;
- в диапазоне измерений от 100 кН до 1000 кН с доверительной погрешностью:
в режиме нагружения не более 0,012 %;
в режиме разгрузки не более 0,011 %.

Рекомендуемая дата следующей калибровки 08.06.2017 г.

Калибровку провел _____ С.А.Семенов